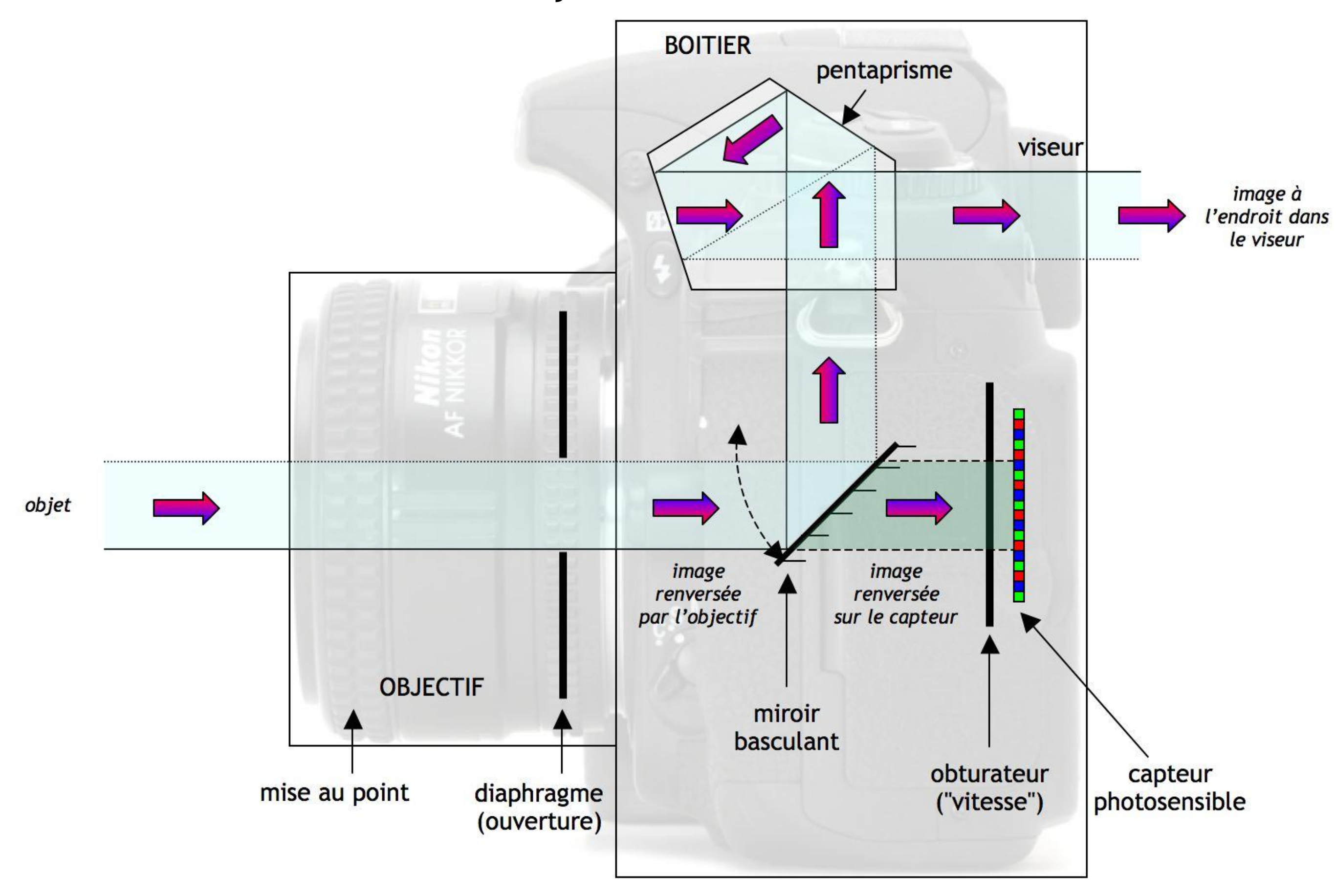
Apprentissage de la photographie

TUTORIEL

A. L'appareil photo numérique (APN)

Il est constitué d'un boîtier et d'un objectif.



A.1. Le boîtier

Les "organes" principaux du boîtier numérique sont :

- le capteur photosensible, qui est chargé de convertir la lumière en signaux électriques. Un système électronique traite l'ensemble de ces signaux qui sont numérisés, puis stockés sur une carte mémoire sous la forme d'un fichier numérique.

- le miroir, incliné de 45°, qui redirige la lumière vers le pentaprisme et qui, au moment de la prise de vue, va se relever pour laisser passer la lumière directement vers le capteur photosensible à travers l'obturateur.

- le penta prisme, qui permet de remettre l'image à l'endroit et d'observer ainsi directement la lumière telle qu'elle sera reçue par le capteur.

- l'obturateur, qui s'ouvre comme un "rideau" pendant la durée de la pose choisie.

A.2. L'objectif

Un objectif est constitué de plusieurs lentilles de verre mobiles. Il est caractérisé par sa focale f exprimée en mm, qui est liée à l'angle de champ. L'angle de champ est d'autant plus grand que la focale est courte. Un objectif peut être :

- à focale fixe. Exemple : 50 mm (angle de champ de 46°).
- à focale variable : zoom Exemple : 70-200 mm (angle de champ variant de 34° à 12°).



A.2.a. Le coefficient de recadrage

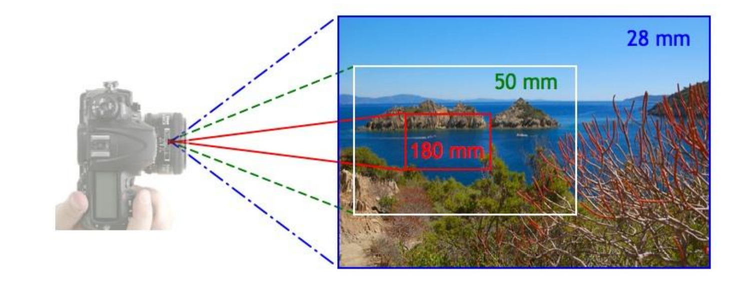
Tout dans un appareil photo numérique fonctionne de la même façon que dans un appareil photo argentique, à ceci près que le capteur et l'électronique de traitement de l'image remplacent la pellicule. Or aujourd'hui, les capteurs numériques ont pour la plupart une taille inférieure à celle d'une pellicule. Par conséquent, avec un même objectif, on obtiendra avec un appareil photo numérique une portion plus petite de la scène photographiée et donc un angle de champ plus faible qu'avec un appareil photo argentique. On dit qu'il existe un coefficient de recadrage. Par exemple, les capteurs les plus répandus sur les APN reflex ont une dimension de 16 mm x 24 mm (format APS-C) à comparer au format d'une pellicule standard : 24 mm x 36 mm. Dans ce cas, le coefficient de recadrage vaut 1,5. Les APN les plus hauts de gamme ont un coefficient de 1 ; à l'opposé, les APN compacts ont un coefficient de 6 ou plus, c'est-à-dire un capteur de très petite taille.

A.2.b. La focale équivalente

Si l'angle de champ est 1,5 fois plus faible, l'image enregistrée correspond à celle qui aurait été prise avec une focale plus grande d'un facteur 1,5. La focale équivalente est donc 1,5 x f. La focale indiquée sur un objectif reste cependant la focale réelle de l'objectif. Dans le cas d'un capteur au format APS-C, un zoom 24-70 mm donne l'impression de couvrir le même champ qu'un zoom 36-105 mm monté sur un appareil argentique du type 24 x 36 (NB : comme en numérique, il existe de nombreux autres formats de pellicules que le 24 x 36).

A.2.c. Gammes de focales

focale équivalente	angle de champ	dénomination
< 50 mm	> 46°	grand angle
50 mm	46°	standard (~ œil humain)
> 50 mm	< 46°	téléobjectif



>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

B. Les réglages

Les 4 réglages fondamentaux sont : la mise au point, l'ouverture, la "vitesse" et la sensibilité.

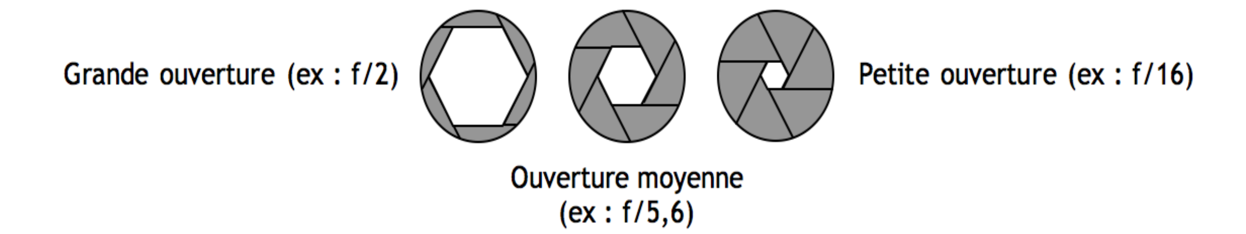
B.1. La mise au point

Faire la mise au point (MAP) (ou faire le point) consiste à positionner les différentes lentilles de l'objectif pour qu'un point choisi du sujet ait son image bien nette sur le capteur. La MAP peut se faire à la main en déplaçant une bague de réglage, mais les appareils photographiques modernes disposent tous d'un système autofocus (AF) souvent bien plus performant. L'AF s'effectue en appuyant sur le déclencheur à mi-course. Dans le viseur, sont dessinés plusieurs petits carrés appelés collimateurs. Il est possible de sélectionner l'un de ces collimateurs sur lequel l'appareil effectuera la MAP ou de laisser l'appareil se charger de déterminer où faire la mise au point selon la scène photographiée.

B.2. Le diaphragme, l'ouverture, la profondeur de champ et le piqué

Le diaphragme est un ensemble de lames métalliques mobiles formant un trou de forme quasi circulaire, dont le diamètre D est appelé ouverture. La quantité de lumière reçue par le capteur dépend de cette ouverture D. On définit le nombre d'ouverture par la relation : n = f / D.

Le nombre d'ouverture n'est donc d'autant plus petit que l'ouverture D = f / n est grande.



Dans la suite de nombres ci-dessous, pour chaque changement de valeur, on double ou l'on divise par 2 la quantité de lumière entrante. On dit que l'on ouvre ou que l'on ferme d'un "diaph" (d'un EV ou encore d'un IL).

n = 1 - 1,4 - 2 - 2,8 - 4 - 5,6 - 8 - 11 - 16 - 22 - 32 - 45 ...

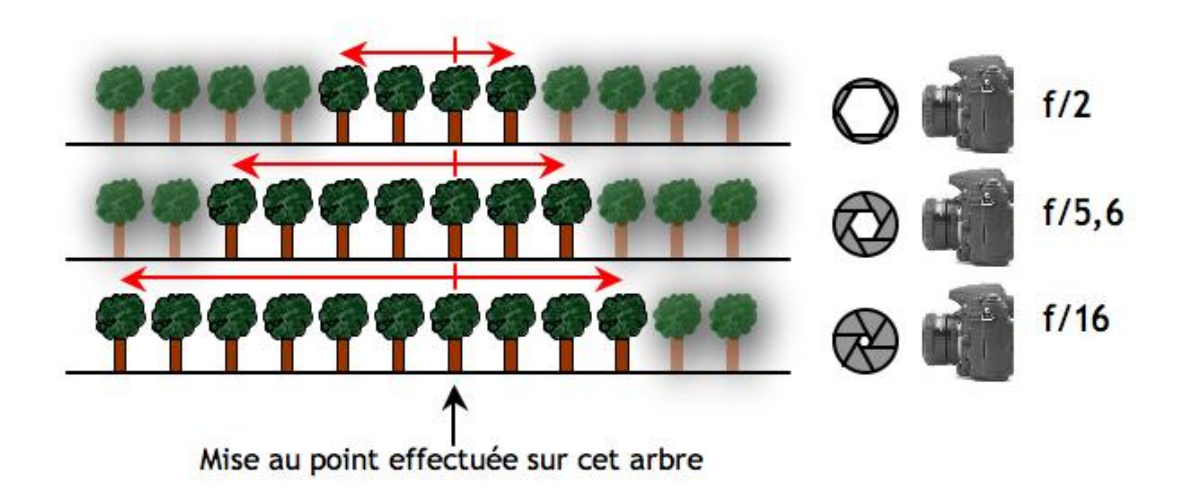
ouverture croissante

Sur un objectif est toujours indiquée l'ouverture maximale disponible :
- un "50 mm 1:1,8" est un objectif de focale 50 mm et d'ouverture maximale : D = f/1,8 = 28 mm ;
- un "18-55 mm 1 :3,5-5,6" est un zoom de focale variable de 18 à 55 mm et d'ouverture maximale glissante : D = 18/3,5 = 5 mm à 18 mm et D = 55/5,6 = 10 mm à 55 mm ;

- un "17-55 mm 1:2,8" est un zoom de focale variable de 17 à 55 mm et d'ouverture maximale : D = f/2,8 à toutes les focales, c'est-à-dire de nombre d'ouverture constant n = 2,8.

Le choix de l'ouverture détermine la profondeur de champ (PDC) et influe sur le piqué.
La profondeur de champ est l'étendue (en profondeur) de la zone nette de l'image.

La profondeur de champ est d'autant plus courte que :
- le sujet photographié est proche ;
- la focale f est grande (petit angle de champ) ;
- l'ouverture D est grande (petit nombre n). cf. figure.

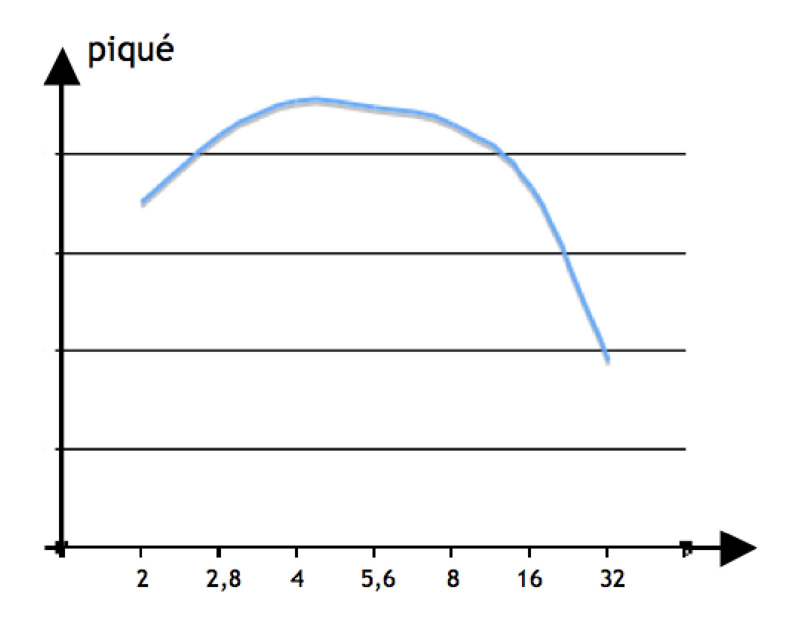


Remarque : par rapport au point, la profondeur de champ se répartit à peu prêt à raison de 1/3 à l'avant du point et 2/3 à l'arrière.

Le piqué d'un objectif est l'un des principaux critères de mesure de sa qualité. À une focale donnée, le piqué évolue avec l'ouverture suivant une courbe en cloche plus ou moins marquée. Deux causes expliquent la perte de qualité aux ouvertures extrêmes :

- la performance optique des lentilles est moins bonne sur les bords qu'au centre or, aux grandes ouvertures (ex : f/2), on utilise les bords des lentilles.

- aux petites ouvertures (ex : f/16), la diffraction par le petit trou formé par le diaphragme, devient visible.



Il est donc intéressant de connaître l'allure de cette courbe pour l'objectif utilisé, afin de tirer le meilleur parti de son matériel selon le résultat souhaité.

B.3. La "vitesse" ou le temps d'exposition

La quantité de lumière reçue par le capteur dépend également de la durée pendant laquelle la lumière éclaire le capteur. C'est le rôle de l'obturateur, qui s'ouvre pendant une durée réglable, au cours de laquelle le capteur est exposé. La durée pendant laquelle l'obturateur reste ouvert est ce que l'on appelle la "vitesse" ou le temps d'exposition ou le temps de pose, qui se mesure en secondes et qui peut varier de plusieurs heures à 1/8000ème s ! Notons que le terme de "vitesse" est un abus de langage, puisqu'une vitesse ne se mesure pas en secondes. On comprend cependant que pour un faible temps d'exposition, la vitesse de l'obturateur est grande. Exemple : 1/2000 s est un temps court, qui correspond à une grande vitesse. Dans la suite de nombres ci-dessous, pour chaque changement de valeur, on double ou l'on divise par 2 la quantité de lumière entrante (modification d'un "diaph", d'un EV ou d'un IL).

... 2'' - 1'' - 1/2 - 1/4 - 1/8 - 1/15 - 1/30 - 1/60 - 1/125 - 1/250 - 1/500 - 1/1000 - 1/2000 ...

vitesse croissante →

Attention : quand l'appareil indique un temps d'exposition de 250, cela signifie 1/250ème s. quand l'appareil indique un temps d'exposition de 3", cela signifie 3 s.

B.4. La sensibilité

Une fois que la lumière a atteint le capteur, elle est transformée en signaux électriques, que l'on peut amplifier électroniquement avec un gain réglable.

Par analogie avec la sensibilité des films argentiques (chimiques), on exprime ce gain en ISO.

Dans la suite ci-dessous, pour chaque changement de valeur, on double ou l'on divise par 2 la quantité de lumière enregistrée (modification d'un "diaph" / d'un EV / d'un IL).

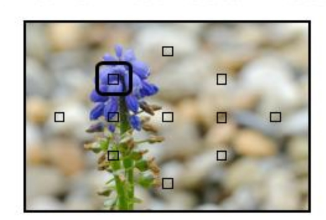
... 100 - 200 - 400 - 800 - 1600 - 3200 - 6400 ...

Cependant, plus la sensibilité est grande et plus la qualité de l'image se détériore. Du fait de la forte amplification, du bruit numérique apparaît sur l'image sous la forme de petits points colorés. Quand ce sera possible, on choisira donc en général la plus faible sensibilité de l'appareil. Nous verrons dans la partie C. que la "vitesse", l'ouverture et la sensibilité sont trois paramètres intimement liés : ouvrir davantage ou ouvrir plus longtemps a la même répercussion en terme de quantité de lumière reçue par le capteur (exposition). Par contre le résultat sur la photographie ne sera pas du tout le même, comme le montrent les illustrations suivantes.

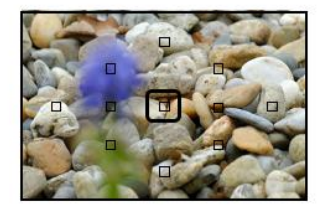
B.5. Illustrations

B.5.a. Mise au point

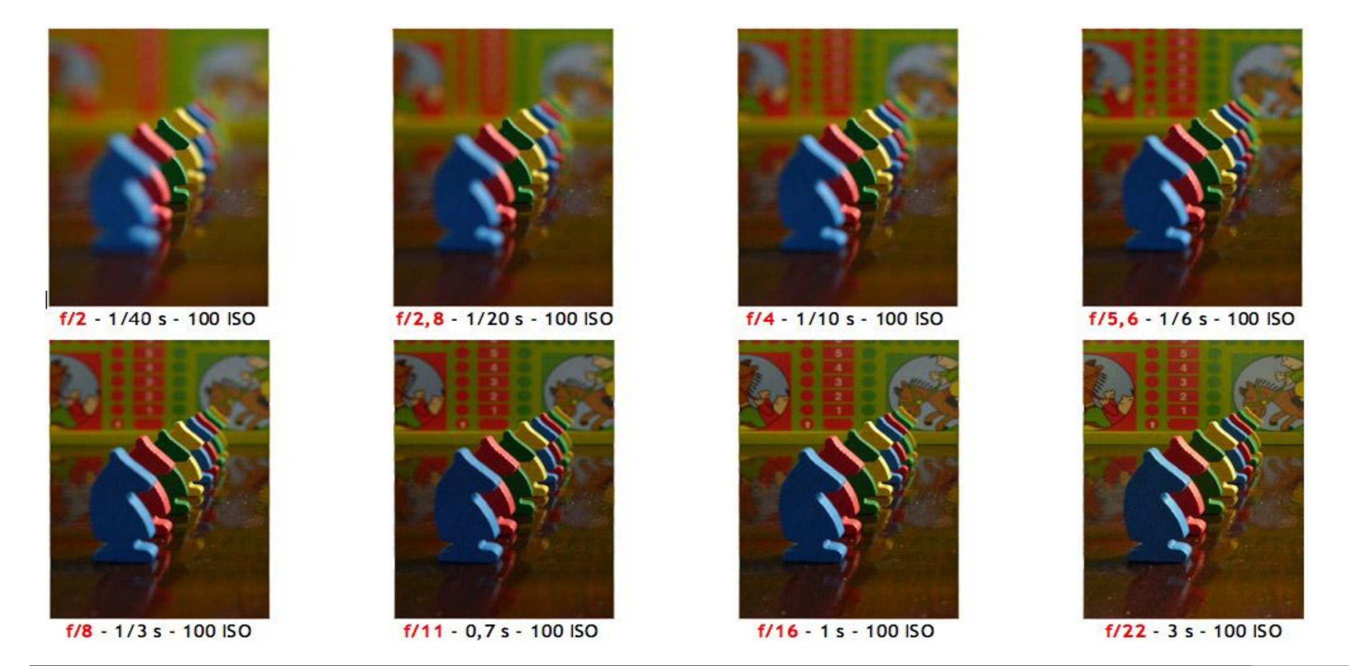
bon choix du collimateur



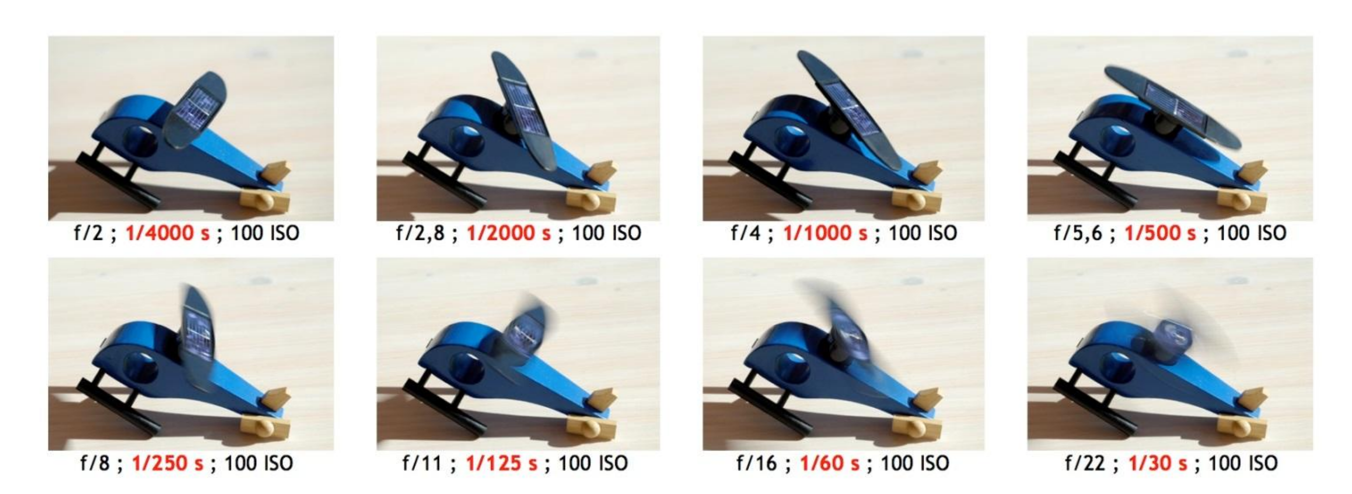
mauvais choix du collimateur



B.5.b. Sujet fixe : modification de la profondeur de champ



B.5.c. Sujet en mouvement rapide : du mouvement figé au filé, qui suggère le mouvement



f/2 ; 1/4000 s ; 100 ISO — f/2,8 ; 1/2000 s ; 100 ISO — f/4 ; 1/1000 s ; 100 ISO — f/5,6 ; 1/500 s ; 100 ISO
f/8 ; 1/250 s ; 100 ISO — f/11 ; 1/125 s ; 100 ISO — f/16 ; 1/60 s ; 100 ISO — f/22 ; 1/30 s ; 100 ISO

B.5.d. Montée du bruit numérique avec la sensibilité (extraits d'image)



f/4,8 ; 1/15 s 100 ISO — f/4,8 ; 1/30 s 200 ISO — f/4,8 ; 1/60 s 400 ISO — f/4,8 ; 1/125 s 800 ISO — f/4,8 ; 1/250 s 1600 ISO — f/4,8 ; 1/500 s 3200 ISO

>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

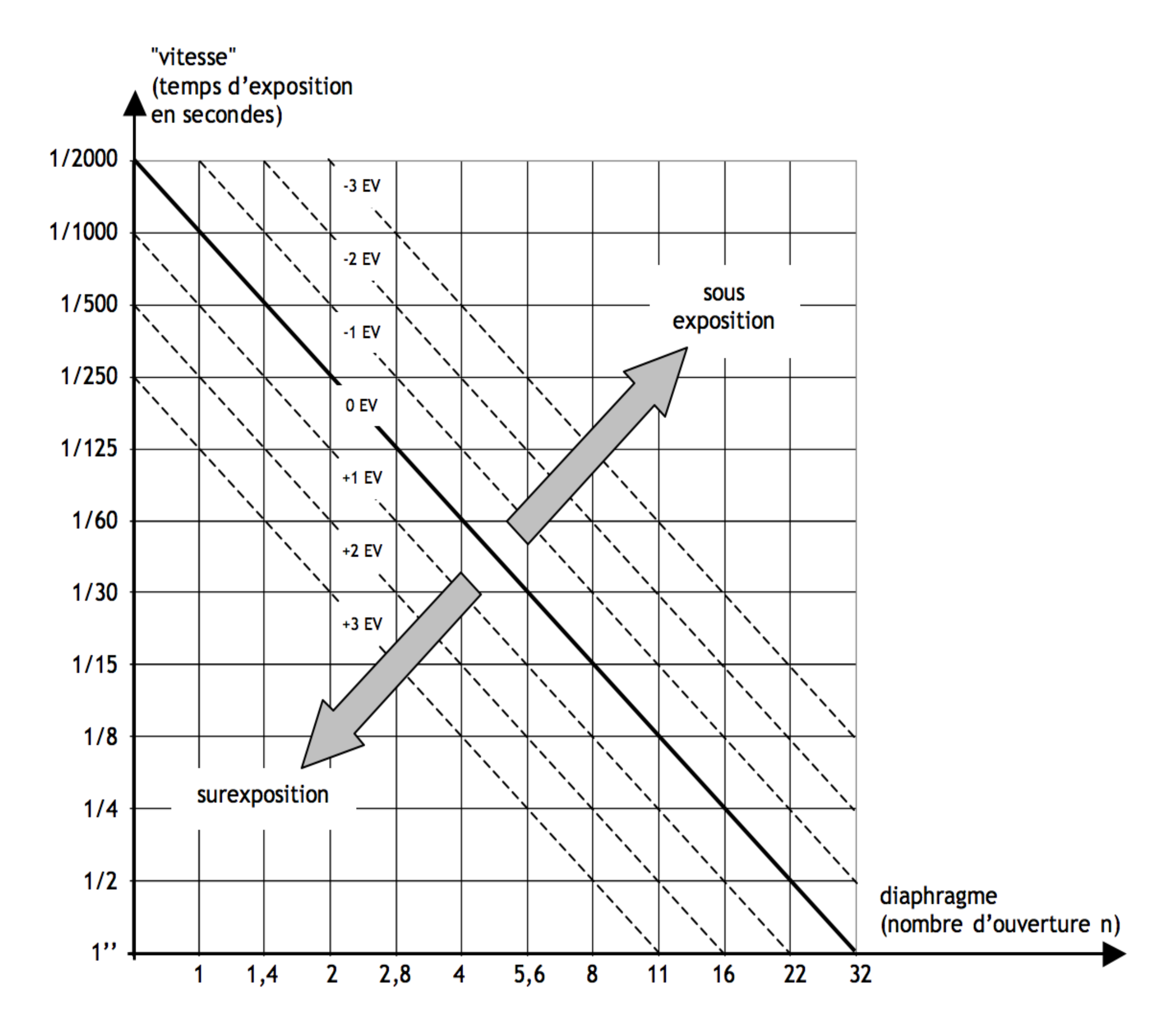
C. L'exposition

C.1. La mesure d'exposition

Tous les appareils photos disposent aujourd'hui d'un système de mesure d'exposition automatique, qui analyse l'intensité lumineuse de la scène et la compare à une banque de données. À l'aide de cette mesure, l'appareil peut connaître, pour une sensibilité donnée, les couples "vitesse"/ouverture, pour lesquels l'exposition sera correcte. Le graphique ci-dessous indique, pour une scène donnée, les couples correspondant à une "bonne" exposition (ligne noire).

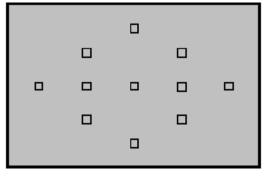
Exemple : les couples f/2 - 1/250ème s et f/8 - 1/15ème s correspondent à la même exposition.

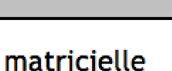
- On obtiendra une surexposition (photo plus claire) soit en augmentant le temps d'exposition (ie : en diminuant la "vitesse"), soit en augmentant l'ouverture (ie : en diminuant le nombre n).
- On obtiendra une sous exposition (photo plus sombre) soit en diminuant le temps d'exposition (ie : en augmentant la "vitesse"), soit en diminuant l'ouverture (ie : en augmentant le nombre n).

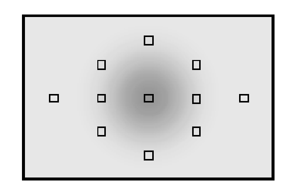


C.2. Les modes de mesure d’exposition

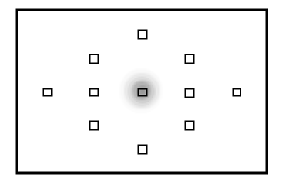
Le photographe peut définir la zone dans laquelle l’APN effectuera la mesure d’exposition :
- mesure matricielle ou intégrale : l’exposition est mesurée sur l’ensemble de la scène photographiée ;
- mesure pondérée centrale : l’exposition est mesurée sur l’ensemble de la scène en accordant davantage d’importance à la zone centrale ;
- mesure spot : la mesure s’effectue précisément sur le collimateur sélectionné.







pondérée centrale



spot

C.3. Le mode automatique

Les APN grand public disposent tous d’un mode automatique. Ce mode ne laisse que très peu de liberté au photographe, mais donne presque toujours un résultat techniquement satisfaisant. Le photographe compose sa photo en choisissant le point de vue, la focale et le cadrage. L’APN mesure l’exposition et choisit le couple temps d’exposition/ouverture. Si nécessaire, il adapte la sensibilité et fait fonctionner le flash intégré.

C.4. Les modes scènes

Les modes scènes (portraits, paysages,…) sont des modes automatiques, mais l’APN est "prévenu" du type de scène et il va donc pouvoir s’y adapter plus facilement.

C.5. Le mode P (Program)

C’est un mode automatique, mais cette fois, le photographe peu choisir lui-même la sensibilité et décider d’employer ou non le flash. Le photographe peut cependant choisir de décaler le réglage proposé par l’APN suivant la droite 0 EV (cf. graphique du C.1.)

C.6. Le mode A (Aperture) ou Av : priorité à l’ouverture

Le photographe choisit lui-même la sensibilité et l’ouverture. L’APN choisit le temps d’exposition adaptée d’après la mesure de lumière.

C.7. Le mode S (Speed) ou Tv : priorité à la "vitesse"

Le photographe choisit lui-même la sensibilité et le temps d’exposition. L’APN choisit l’ouverture adaptée d’après la mesure de lumière.

C.8. Le mode M (Manual)

Le photographe choisit lui-même la sensibilité, le temps d'exposition et l'ouverture. L'APN indique cependant au photographe si le couple temps d'exposition/ouverture choisi est conforme à sa mesure de lumière, mais le laisse libre de son choix.

>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

D. Prendre une photo

Créer une photo demande un temps de réflexion (qu'on n'a pas toujours !). Avec l'habitude, ce temps se réduira et le plaisir créatif grandira.

D.1. Comment choisir son cadrage ?

Voici quelques règles très simples qui méritent bien entendu d'être approfondies :

1. Placer les éléments importants sur les points chauds et utiliser les lignes des tiers :
2. Adapter le sens du cadrage à celui du sujet.
3. Excentrer le sujet.
4. Placer de l'espace devant votre sujet.
5. Placer de l'espace dans la direction du regard ou dans la direction du mouvement.
6. Retenir que tout ce qui n'est pas le sujet gagnera en général et si possible à ne pas être dans le cadre.
7. Bien apprendre ces règles pour mieux les transgresser : être créatif !

D.2. Comment choisir ses réglages ?

Photographier en mode automatique a beaucoup d'avantages : c'est simple et rapide, et la photo est techniquement réussie dans la plupart des cas. L'appareil prend en charge tous les réglages pour délivrer une photo correctement exposée, ne laissant au photographe "que" la responsabilité du cadrage. Alors, pourquoi ne pas s'en contenter ? …. Pour laisser libre court à la créativité du photographe : choisir la profondeur de champ pour faire ressortir un sujet de l'arrière-plan, suggérer un mouvement par un filé ou encore figer un mouvement rapide.

D.2.a. Gérer la profondeur de champ :

Mode d'emploi

Régler la sensibilité au minimum (100 ou 200 ISO) pour obtenir la meilleure qualité d'image.

Choisir le mode A (ou Av) et régler l'ouverture avec la molette prévue à cet effet :

- grande ouverture pour isoler le sujet (pas forcément la pleine ouverture qui n'offre souvent pas le meilleur piqué). C'est typiquement le choix que l'on fera pour du portrait : f/2 à f/4 ;

- petite ouverture pour obtenir une grande plage de netteté (éviter de trop fermer pour éviter la diffraction. C'est typiquement le choix que l'on fera pour des paysages : f/8 à f/11.

Lire dans le viseur le temps d'exposition choisi par l'APN. Ce temps devra être suffisant pour éviter que les mouvements du photographe n'entraînent un flou de bougé. La "vitesse" doit être au moins égale à l'inverse de la focale équivalente.

Exemple : à une focale f = 70 mm (focale équivalente 105 mm), on prendra une "vitesse" d'au moins 1/100 s, c'est-à-dire 1/125 s ou 1/250 s. Si cette règle est vérifiée : on peut prendre la photo !

Si ce n'est pas le cas, on doit augmenter la "vitesse" (diminuer le temps d'exposition) :
- d'abord en ouvrant davantage le diaphragme ; - puis en augmentant la sensibilité (sans excès pour ne pas trop détériorer l'image) ;
- et enfin en utilisant le flash, qui apportera la lumière manquante.

On voit là tout l'intérêt de disposer d'objectifs "lumineux", c'est-à-dire de grande ouverture maximale, lorsque la lumière vient à manquer. Cela évite la montée en sensibilité et donc l'apparition du bruit.

D.2.b. Gérer la "vitesse" : mode d'emploi

Régler la sensibilité au minimum (100 ou 200 ISO) pour obtenir la meilleure qualité d'image.

Choisir le mode S (ou Tv) et régler le temps d'exposition avec la molette prévue à cet effet :
- grande "vitesse" (1/500 s au moins) pour figer un sujet en mouvement rapide ;
- petite "vitesse"pour enregistrer le mouvement sous forme d'un filé (ou traînée). Dans ce cas, l'usage du trépied est généralement nécessaire pour éviter le flou de bougé.

Vérifier dans le viseur que l'ouverture déterminée par l'APN pour obtenir la bonne exposition n'est ni trop grande ni trop petite pour conserver une bonne qualité d'image. Si la quantité de lumière est trop faible, l'APN l'indiquera et il faudra ouvrir davantage ou augmenter la sensibilité. Pour cette raison, on qualifie parfois de "rapides" les objectifs très lumineux, qui permettent d'atteindre de plus grandes "vitesses". Si la quantité de lumière est trop importante, l'APN l'indiquera et il faudra fermer davantage ou encore ajouter un filtre devant l'objectif pour atténuer la lumière entrante.

D.2.c. Gérer le temps d'exposition et l'ouverture : mode d'emploi

L'intérêt au quotidien du mode manuel est assez limité. Il se justifie lorsqu'on utilise un flash externe (le flash intégré à son intérêt, mais donne souvent des résultats décevants en faible lumière) ou que l'on travaille en studio. Dans ce cas, le photographe dispose d'une liberté quasi totale. On choisit l'ouverture et le temps d'exposition et le flash émet la lumière nécessaire pour illuminer la scène conformément au couple temps d'exposition/ouverture choisi. Évidemment la puissance du flash constitue une limite à cette pratique.

D.3. Quand et comment utiliser le flash ?

Le flash permet d'apporter un complément de lumière à la scène. Sa puissance est donnée par le nombre guide (NG), qui permet de déterminer sa portée P :

À partir de la formule $P = \frac{NG \times ISO}{100 \times n}$ ex : à 200 ISO, la portée d'un flash de NG 13 à f/4 est : $P = \frac{13 \times 200}{100 \times 4} = 6{,}5$ m

D.3.a. Quand la lumière manque…

C'est une évidence : si la lumière manque, le flash peut être une solution.

Attention cependant : on gagnera généralement à éviter d'utiliser le flash intégré, qui ne donne pas des lumières très naturelles. Penser d'abord à ouvrir le diaphragme et à monter en sensibilité dans la limite du raisonnable pour conserver autant que possible l'ambiance de la scène.

Quelques remarques :
- Éviter d'utiliser le flash en face d'une surface réfléchissante (vitres, miroirs,…) ;
- Éviter d'utiliser le flash lorsque le sujet est proche d'un mur : l'ombre portée, créée par le flash, sera très disgracieuse ;
- S'éloigner autant que possible du sujet et compenser en choisissant une focale plus importante. La lumière du flash sera ainsi plus douce et plus homogène.
- Un flash externe orientable (flash cobra) permet une bien meilleure gestion de la lumière et ouvre beaucoup d'autres perspectives, que nous n'envisagerons pas ici.

D.3.b. Quand il y a trop de lumière…

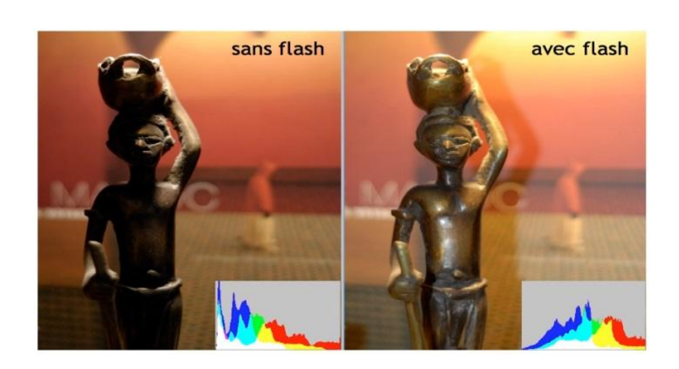
Cela peut paraître paradoxal, mais le flash sera très utile lorsque la lumière est très "dure" (par exemple à midi en été). Dans ce cas, le contraste entre les zones d'ombre et les zones éclairées est très important. La mesure de l'exposition se fait alors sur les hautes lumières et les ombres vont paraître très noires : on ne distinguera pas, par exemple, les yeux d'un sujet portant un chapeau.

L'émission d'un éclair va permettre d'éclaircir les ombres et ainsi de leur redonner de la texture. L'impact du flash sur les zones déjà très lumineuses sera négligeable.

En pratique avec le flash intégré :

- se placer en mode priorité "vitesse" (S ou TV) ;
- sortir le flash pour imposer son utilisation ;
- réduire éventuellement l'intensité du flash (généralement autour de -1 EV selon l'effet souhaité) ;
- choisir le temps d'exposition le plus court possible (généralement 1/250 s ou 1/500 s avec les flashs intégrés) ;
- vérifier éventuellement que l'ouverture choisie par l'appareil photo convient et prendre la photo.

Exemple :



D.4. Une autre solution : le trépied

Nous avons vu que le manque de lumière était souvent un problème, car on ne peut pas atteindre des "vitesses" suffisantes pour que les tremblements du photographe n'entraînent un flou de bougé.
Le trépied est LA solution à ce problème : il ne bouge pas, tremble peu et va donc permettre l'accès à des temps d'exposition très longs ("vitesses" très faibles).
Certes un peu encombrant, il élargit considérablement le champ des possibilités créatives de l'appareil photo. Avec un temps de pose de plusieurs secondes, on pourra par exemple "dessiner" avec de la lumière (c'est le "light painting"). Avec un temps de pose de plusieurs minutes ou plusieurs heures, on pourra par exemple enregistrer le mouvement des étoiles …



Light painting. Temps de pose : 10 s


Filé d'étoiles.
Temps de pose : 30 min

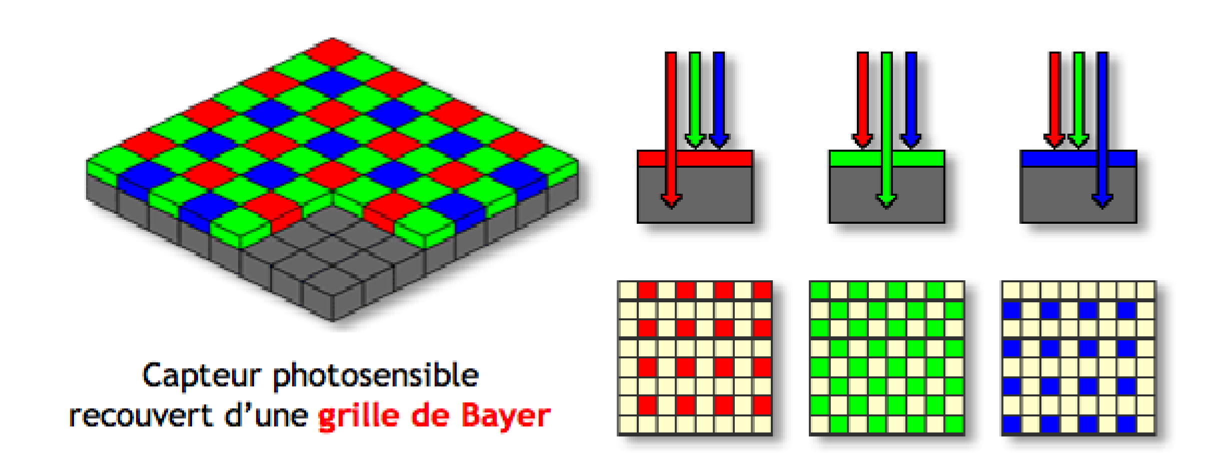
>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

E. Du capteur numérique à l'image numérique

E.1. Du capteur numérique aux "données brutes"

Afin de mieux comprendre ce qu'est la photo numérique, il est nécessaire de dire d'abord quelques mots de la façon dont la scène photographiée devient une suite complexe de 0 et de 1 stockée sur une carte mémoire : un fichier numérique.

Le capteur numérique d'un APN est constitué de diodes photosensibles appelées photosites.
L'ensemble de ces photosites est recouvert d'un ensemble de filtres de couleurs différentes (grille de Bayer) dans la proportion :
- 1 photosite sensible aux lumières Rouges,
- 2 photosites sensibles aux lumières Vertes (pour traduire la plus grande sensibilité au vert de l'œil humain),
- 1 photosite sensible aux lumières Bleues. Cette grille permet de spécialiser chaque photosite dans la détection de l'une des trois couleurs fondamentales R,V et B.

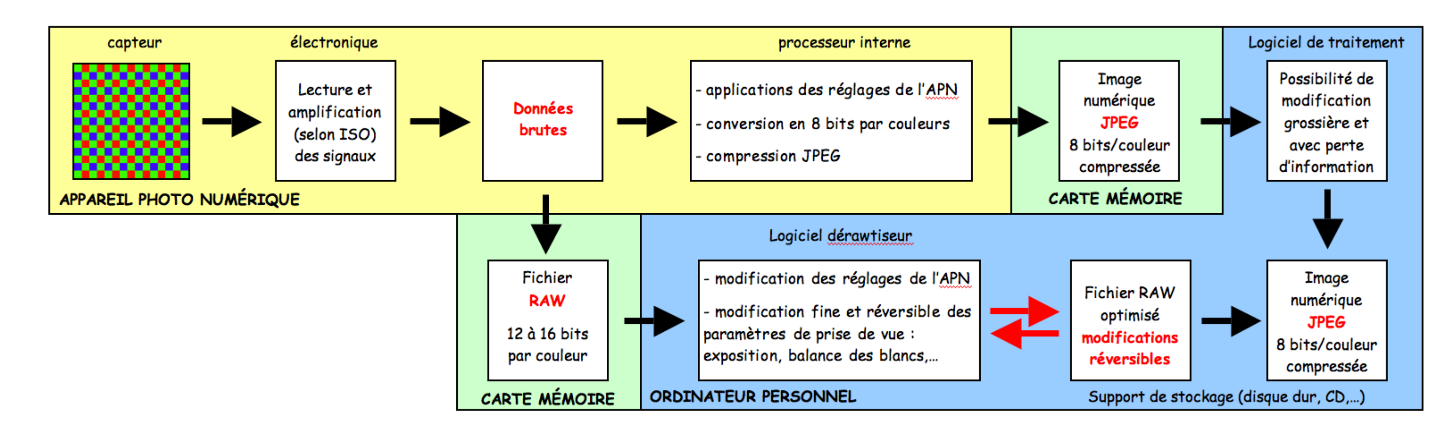


La lumière reçue par chaque photosite est traduite en un signal électrique, traduit à son tour en un signal numérique. Ce signal numérique est codé sur 12 bits par couleur (voire 14 ou 16 bits), c'est à dire avec 12 chiffres valant 0 ou 1. Cela permet d'enregistrer 2^{12} = 4 096 niveaux d'intensité lumineuse par photosite.

Une combinaison complexe des signaux, ainsi recueillis par chaque photosite et par ses proches voisins, permet finalement de composer l'unité de base de l'image numérique : le pixel (abréviation pour PICture ELement).

On obtient de cette manière à peu près autant de pixels sur l'image que de photosites sur le capteur. Chaque pixel, ainsi créé à partir de 3 types de photosites spécialisés, permet de traduire avec un codage sur 12 bits : $(2^{12})^3$ = 68 milliards de couleurs (281 000 milliards de couleurs avec un codage sur 16 bits) !
Toutes ces données sont enregistrées dans un fichier appelé fichier RAW ("brut" en anglais).

À ce stade, deux solutions sont possibles :
- soit on laisse l'APN se charger de transformer le fichier RAW en image numérique,
- soit on utilise un logiciel (appelé "déRAWtiseur" ou dématriceur) pour traiter soi-même le fichier RAW.



E.2. Des "données brutes" à l'image numérique

Notons à ce stade que la plupart des écrans d'ordinateur et les imprimantes, affichent les images codées sur "seulement" 8 bits par couleur, soit $(2^8)^3$ = 16 777 216 couleurs. C'est d'ailleurs amplement suffisant, puisque l'œil humain standard ne sait discerner qu'environ 10 millions de couleurs. Se pose alors la question de l'intérêt d'enregistrer un fichier codé sur 12, 14, voire 16 bits !...

E.2.a. Ce que fait l'appareil photo numérique

Le processeur de l'APN se charge d'appliquer les réglages choisis par l'utilisateur aux données brutes. Il se débarrasse ensuite des 4 bits qu'il considère comme inutiles, puis applique une compression plus ou moins destructive pour obtenir une image numérique au format JPEG (Joint Photographic Experts Group).
Le format JPEG est un format ouvert, universellement reconnu et normalisé. Il occupe relativement peu de place mémoire et il peut être directement partagé, échangé, montré. Bref, c'est une image !
Par contre, c'est un format qui offre très peu de latitude de réajustement, d'autant que chaque modification entraîne une perte de donnée irréversible, du fait de la nouvelle compression effectuée à chaque réenregistrement.

E.2.b. Ce que fait un "dérawtiseur"

Lorsque l'on visualise un fichier RAW sur un écran d'ordinateur, toutes les données ne sont pas visibles et l'écran ne nous montre qu'une interprétation en 8 bits par couleur des données brutes. Mais ces nombreuses données bien qu'invisibles sont DISPONIBLES !
Le fait de travailler sur 12 bits ou plus par couche au format RAW permet de choisir soi-même, parmi ces 12 bits, les 8 bits que l'on souhaite conserver ou mieux, de décaler sélectivement certaines de ces informations invisibles, dans le visible pour constituer le fichier final. Cela permet notamment de récupérer des détails perdus dans les hautes ou dans les basses lumières et de mieux ajuster l'exposition.
Autre avantage du format RAW : chaque modification est réversible, puisque les données brutes ne sont pas modifiées ; ce sont seulement les modifications qui sont

stockées avec le fichier.
Tout cela a évidemment un coût en terme de place mémoire, un fichier RAW occupant davantage de place qu'un fichier JPEG.
Notons enfin qu'il n'existe pas de format RAW universel. Chaque marque a son propre format, dont le code n'est pas ouvert, ce qui pose à terme le problème de la pérennité de ces formats…

E.2.c. Exemple :

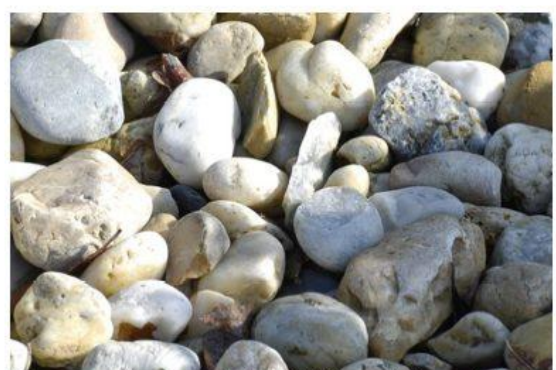


Image numérique originale affichée sur l'écran du boîtier ou de l'ordinateur. L'image est surexposée. L'information est perdue dans les zones "brûlées".

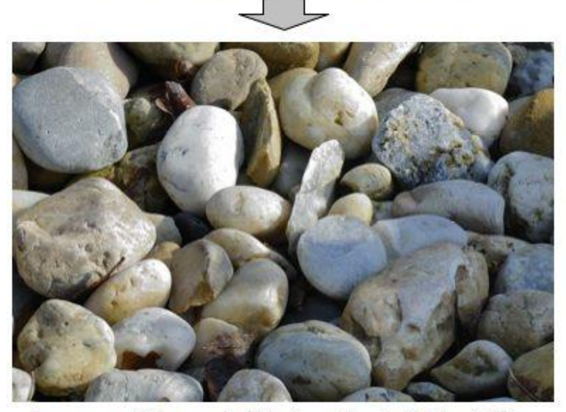


Image numérique retraitée à partir du fichier RAW : une partie importante des détails a pu être récupérée (pas tout…), sans impact sur le reste de l'image.

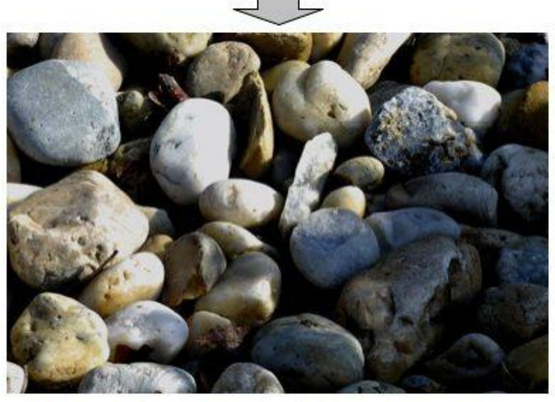


Image numérique retraitée à partir du fichier JPG : La tentative d'assombrissement de l'image n'a permis de récupérer aucune information dans les zones "brûlées"



Image numérique originale affichée sur l'écran du boîtier ou de l'ordinateur. L'image est sous-exposée. L'information est perdue dans les zones "bouchées".

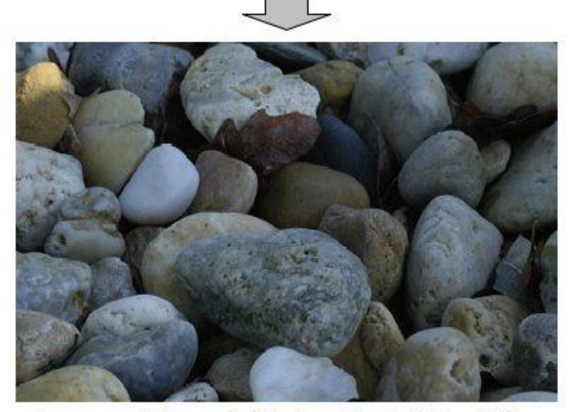


Image numérique retraitée à partir du fichier RAW : une partie importante des détails a pu être récupérée, sans impact sur le reste de l'image.

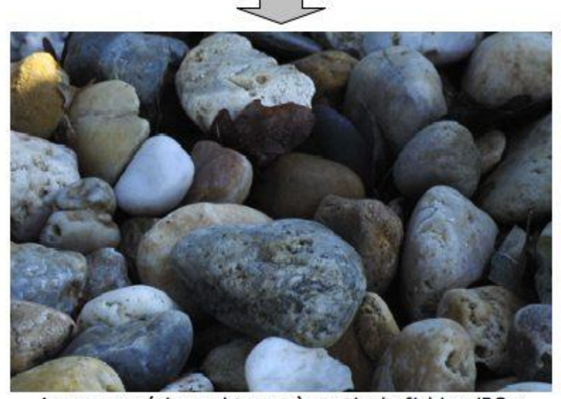


Image numérique obtenue à partir du fichier JPG : L'éclaircissement de l'image a permis de récupérer un peu d'information. Certaines zones restent toujours totalement "bouchées".

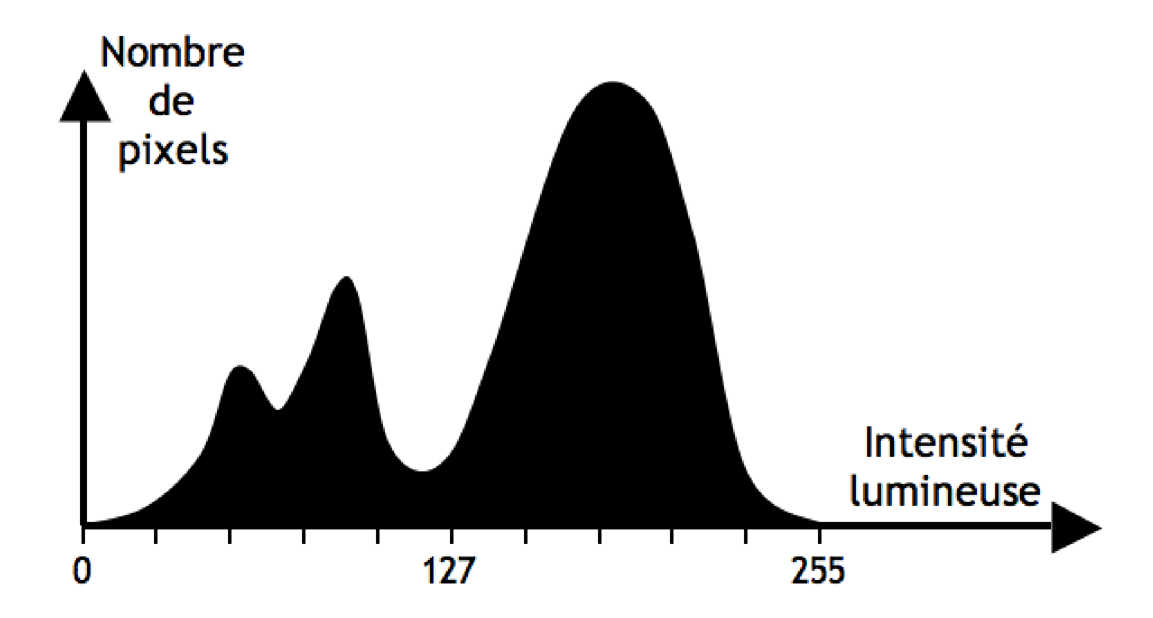
>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

F. Comprendre l'histogramme

F.1. La dynamique du capteur

Chaque photosite du capteur possède une plage de détection limitée (également appelée dynamique) ; c'est-à-dire qu'il n'est capable d'interpréter ni une lumière trop faible, ni une lumière trop intense:
- s'il reçoit une lumière d'intensité inférieure à sa plage dynamique, il ne détectera rien et renverra un signal nul, correspondant à l'absence totale de lumière. Le pixel correspondant sera "absolument noir"
- s'il reçoit une lumière d'intensité supérieure à sa plage dynamique, il sera saturé et renverra un signal maximum, correspondant au blanc pur. Le pixel correspondant sera "absolument blanc"…
Techniquement, l'un des enjeux en photographie numérique est donc de faire en sorte qu'aucun photosite ne soit ni "ébloui", ni "aveuglé".

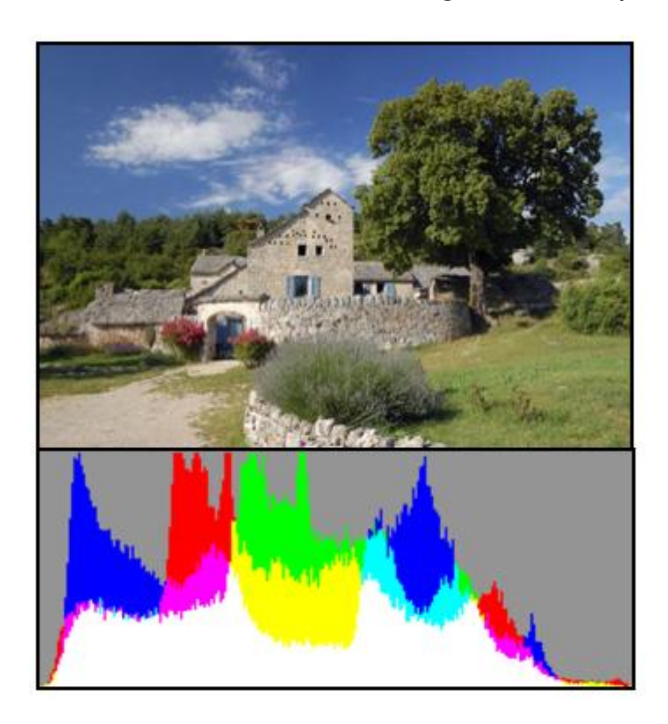
F.2. L'histogramme, qu'est-ce que c'est ?



L'histogramme est un élément majeur dans l'analyse technique d'une photographie. Il représente, sous forme graphique, comment les pixels se répartissent entre l'absence de lumière : le noir (à gauche : niveau 0 ou plutôt 00000000), et la saturation : le blanc (à droite : niveau 255 ou plutôt 11111111). Dans cet exemple, on observe qu'un nombre important de pixels affichent une intensité autour de 75 % de l'intensité maximale. Certains APN affichent les histogrammes correspondant à chacune des trois composantes R, V et B ou une superposition des trois. L'allure de l'histogramme va nous donner de précieuses informations sur l'exposition, le contraste et les dominantes de couleurs.

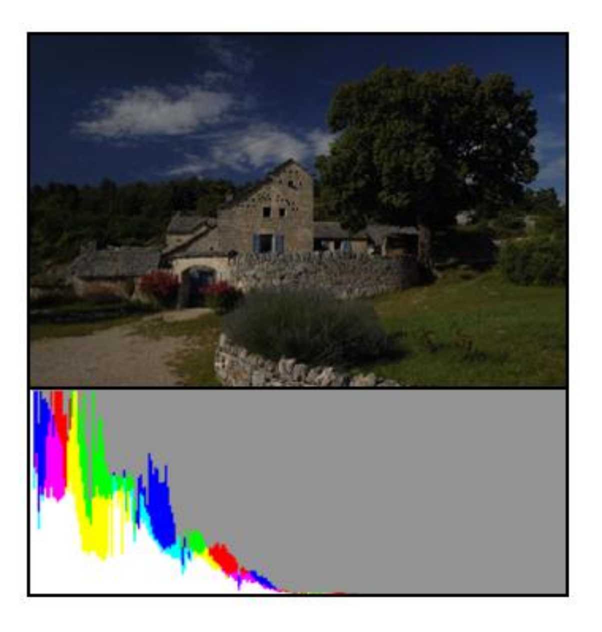
F.3. Qu'est-ce qu'un "bon" histogramme ?

En général, l'histogramme idéal présente une information qui s'étale parfaitement entre le noir absolu et le blanc pur. L'information est présente sur tous les niveaux et sa répartition est homogène.
L'image correspondant à cet histogramme présente donc de l'information dans les zones les plus "foncées" (appelées "basses lumières" ou "tons foncés"), mais aussi dans les zones les plus claires (appelées les "hautes lumières" ou "tons clairs"). De plus, l'information entre le noir et le blanc est régulière : l'exposition est idéale.



Attention : toutes les photos n'ont pas forcément un histogramme idéal. Certaines scènes ont une répartition de lumière atypique, que l'on retrouvera naturellement sur l'histogramme.

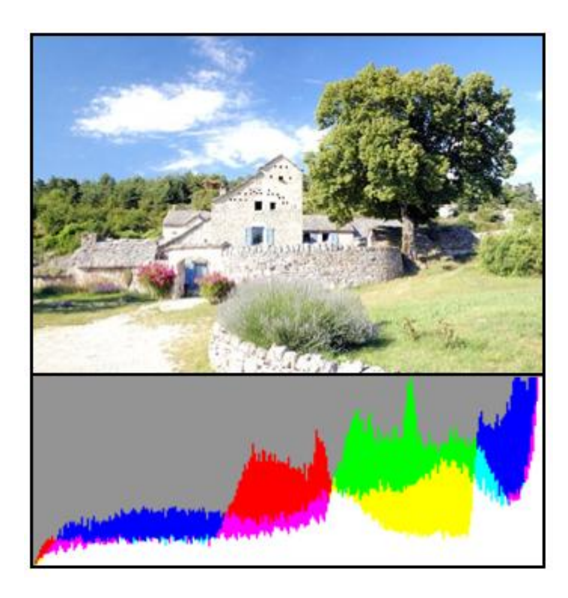
F.4. Qu'est-ce qu'un "mauvais" histogramme ?



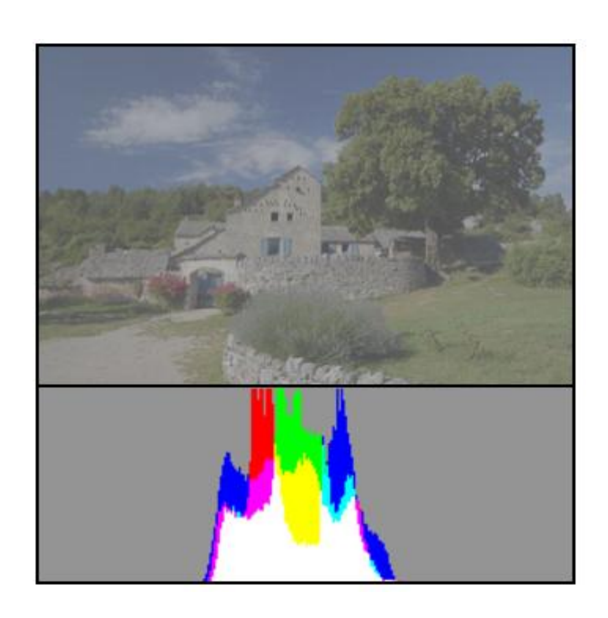
F.4.a. Cas d'une image sous-exposée

Sur la photo : les ombres sont trop noires ; on dit qu'elles sont "bouchées". On distingue peu de détail dans les parties éclairées. Sur l'histogramme : la partie droite, qui correspond aux hautes lumières, n'indique aucun signal. À gauche, de très nombreux pixels affichent très peu ou pas de lumière. L'histogramme se prolonge en réalité en deçà de la limite de l'intensité minimale, mais c'est une information perdue.

F.4.b. Cas d'une image surexposée



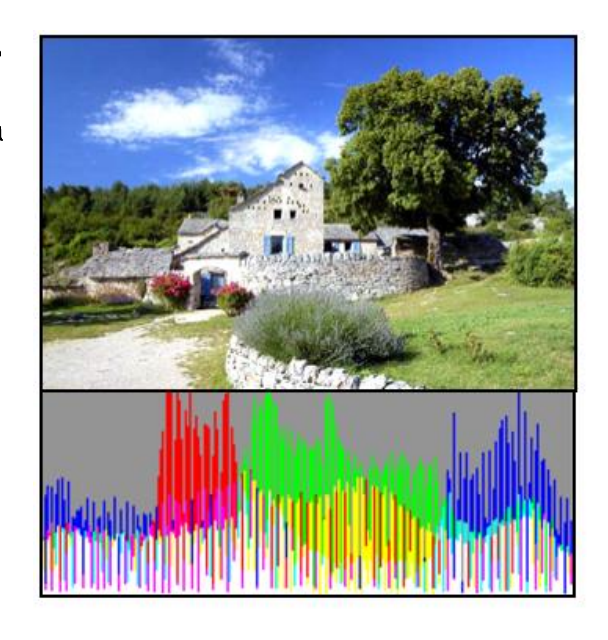
Sur la photo : de grandes zones sont totalement blanches ; plus aucun détail n'y est visible (nuages, chemin,…) ; on dit que ces zones sont "brûlées".
Sur l'histogramme : la partie droite de l'histogramme indique que de très nombreux pixels affichent une intensité trop grande (saturation).
L'histogramme se prolonge au-delà de la limite de l'intensité maximale, mais c'est une information perdue.



F.4.c. Cas d'une image manquant de contraste

Sur la photo : Les couleurs sont ternes, délavées, trop "douces". L'image manque de dynamique. Sur l'histogramme : les signaux ne s'étalent pas du noir au blanc, mais seulement sur une partie de la plage dynamique de l'APN.

F.4.d. Cas d'une image trop contrastée



Sur la photo : l'image manque de nuances. La lumière est trop "dure". Certaines zones sont "brûlées", d'autres sont "bouchées". Sur l'histogramme : les signaux s'étalent sur toute la plage dynamique, mais il apparaît un effet de "peigne", qui traduit une perte répartie de l'information.

>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

G. Comment optimiser une image numérique ?

G.1. Au moment de la prise de vue

Nous avons déjà parlé au paragraphe D. des paramètres de prise de vue (cadrage, mise au point, ouverture, temps d'obturation, sensibilité…).
Mais, comment peut-on se faire une première idée de la qualité technique d'une image, immédiatement après la prise de vue ? Pour cela, deux petites vérifications sont utiles :
- la netteté : vérifier en zoomant sur l'écran que l'image est bien nette, là où la mise au point a été effectuée ;
- l'exposition : observer l'histogramme et vérifier qu'il est bien "calé à droite". Cela signifie que l'exposition est correcte et que toutes les nuances de couleurs seront enregistrées au mieux. Si ce n'est pas le cas, il ne faut pas hésiter à refaire la prise de vue (quand c'est possible), mais en imposant à l'APN de surexposer ou de sous-exposer en conséquence (c'est un réglage disponible sur tous les APN : bouton ).

G.2. Après la prise de vue ; la "retouche" photo

Entendons-nous bien sur le sens de cette démarche :
Il s'agit de modifier le fichier image pour qu'il traduise au mieux la scène photographiée, l'émotion ou le message que le photographe souhaite communiquer. C'est une étape qui n'est pas du tout indispensable et qui ne devient nécessaire que dans le cas d'une erreur de réglage du photographe ou un défaut propre à l'APN.

Il ne s'agit pas de tricher et la tentation est parfois grande d'user et d'abuser des innombrables outils qui font la panoplie du "retoucheur fou". On quitte alors, selon moi, le monde de la photographie pour un autre espace de création sûrement aussi passionnant : la création assistée par ordinateur (CAO). À ce propos, voir absolument ce site : http://www.christophehuet.com/.

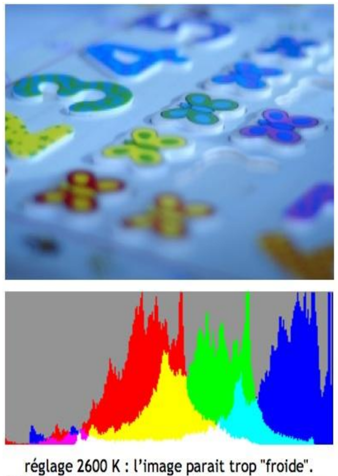
Tout l'enjeu de la "retouche" est donc de savoir user avec parcimonie d'un nombre restreint d'outils sans perdre de vue l'esprit de la photographie. C'est un art difficile et on se rend souvent compte à l'usage, qu'une photo est d'autant meilleure qu'on l'a peu retouchée…

G.2.a. Les "réglages RAW"

Nous avons évoqué au paragraphe E.2. les avantages du format RAW. Il est possible de réajuster, après la prise de vue, certains réglages :
- la netteté, le contraste, la saturation des couleurs ;
- l'exposition, de l'équivalent de ± 2 diaph. Attention : cela ne dispense pas de bien caller l'histogramme à droite au moment de la prise de vue !
En effet, une sous-exposition à la prise de vue, compensée par une surexposition dans le dérawtiseur, s'accompagnera inévitablement d'une montée importante du bruit numérique dans les basses lumières, et ce dans des proportions plus

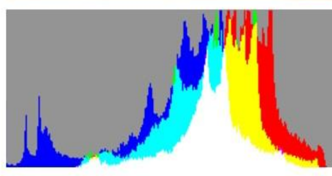
importantes qu'une augmentation équivalente de la sensibilité à la prise de vue ;
- la balance des blancs (BdB). C'est un réglage, qui permet de s'adapter à la dominante de couleur de la lumière, qui éclaire la scène au moment de la prise de vue. Dans la vie courante, notre œil s'habitue, à notre insu, aux variations de couleur de l'éclairage : un objet blanc nous paraît blanc, quelle que soit la nature de l'éclairage (Soleil, ampoule, néon, bougie,…). Un APN n'est pas aussi performant. Régler la BdB, c'est indiquer la température de couleur de la source (une notion de physique, un peu complexe, qui ne sera pas détaillée ici). La température de couleur varie environ entre 1500 K (kelvin) pour une bougie et 10 000 K pour un ciel bleu en altitude.

Ci-dessous, la même image avec trois réglages de balance des blancs différents :



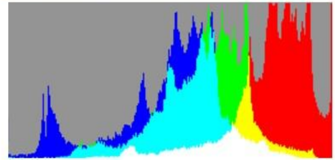
réglage 2600 K : l'image parait trop "froide". L'histogramme montre une forte composante bleue, que l'on retrouve sur l'image.





réglage 5000 K : l'image parait correcte. Les trois histogrammes RVB se superposent et donc s'équilibrent plus ou moins.





réglage 9000 K : l'image parait trop "chaude". L'histogramme montre une forte composante rouge, que l'on retrouve sur l'image.

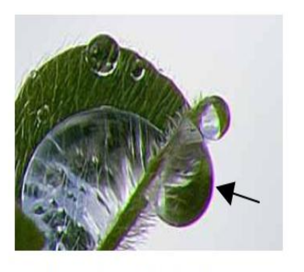
G.2.b. Les autres réglages

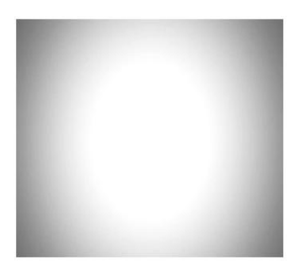
Citons en vrac quelques manipulations supplémentaires utiles et non spécifiques au format RAW :
- redresser : il s'agit simplement de vérifier et éventuellement de corriger l'horizontalité ou la verticalité.
- recadrer : il est possible de reprendre le cadrage pour mieux mettre en évidence le sujet ou pour mieux respecter une règle de cadrage comme la règle des tiers. C'est aussi une manière artificielle de "zoomer" en ne sélectionnant qu'une partie de l'image, ce qui équivaut à faire un "zoom numérique".

- compenser les défauts optiques :
  • la distorsion (déformation due aux lentilles),
  • l'aberration chromatique (franges colorées pourpres ou cyan dans les zones de fort contraste),
  • le vignetage (perte de lumière dans les coins de l'image).
- "débruiter" : c'est un traitement logiciel qui permet d'atténuer le bruit numérique.
- "gommer" : il s'agit de supprimer d'éventuels petits défauts, notamment la trace de poussières déposées sur le capteur et qui apparaissent très nettement pour de petites ouvertures de diaphragme.


Distorsion en coussinet


Distorsion en barillet


Aberrations chromatiques


Vignetage

G.2.c. Quelques exemples

Premier exemple : un fourmilion au lever du Soleil un matin de juillet…

(a)

(b)

(c)

En observant l'original, on se rend immédiatement compte que la balance des blancs n'a pas été correctement réglée.

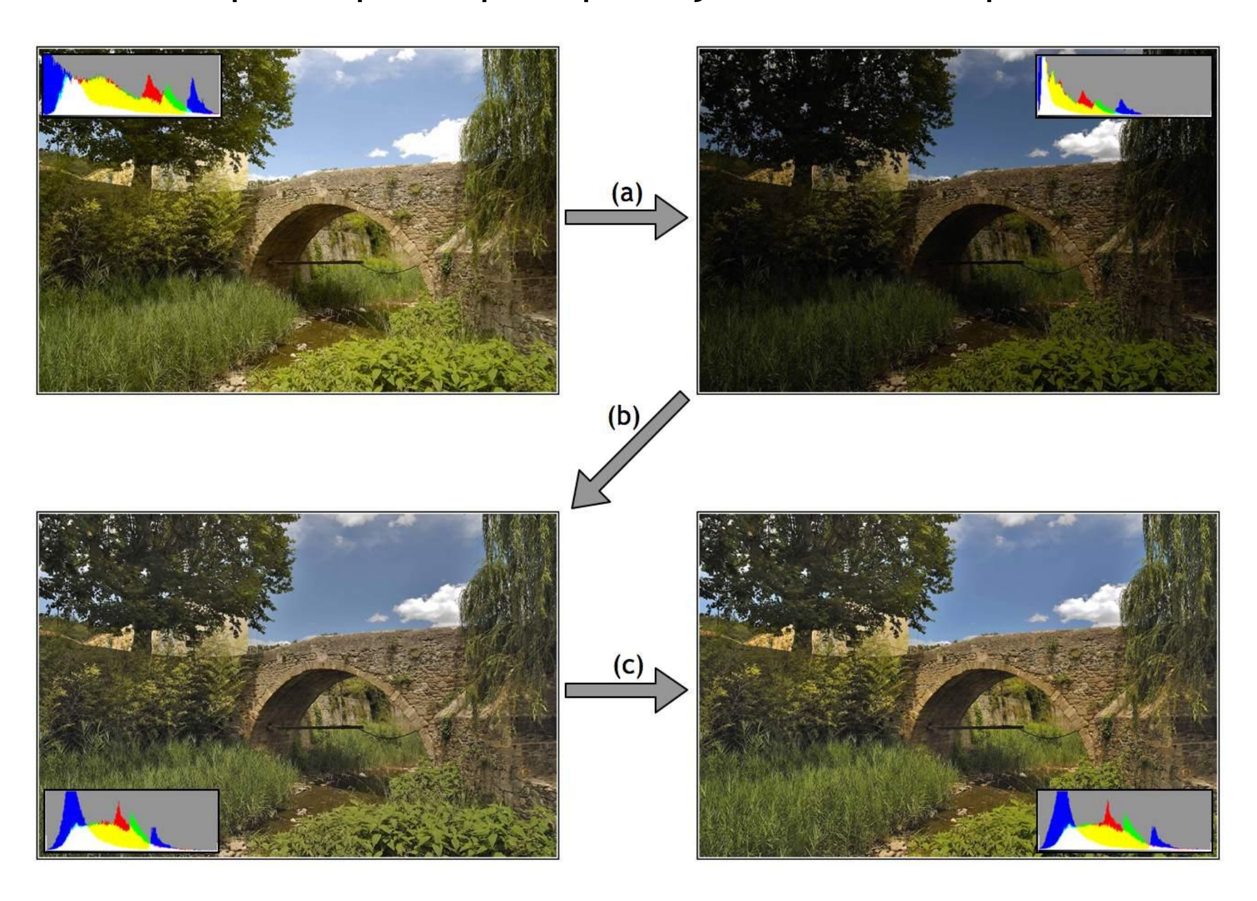
L'examen du fichier RAW montre en effet, que la balance des blancs était réglée sur une lumière de type tungstène, alors que la photo avait été prise dans la lumière chaude du matin.

Un réglage en lumière naturelle règle le problème (a).

La photo est également surexposée. On l'observe notamment sur le petit escargot à gauche et sur l'histogramme, qui déborde assez nettement sur la droite. On ajuste donc l'exposition (b).

Un léger recadrage permet enfin d'éliminer quelques éléments perturbateurs, comme l'escargot, pour ne conserver que l'insecte, qui nous intéresse (c).

Second exemple : un pont de pierre pris en juillet en début d'après-midi…



Le début d'après-midi en été est le pire des moments pour prendre une photographie : la lumière est très dure et les contrastes sont trop importants pour entrer dans la plage dynamique du capteur.

La photo n'est pas vraiment ratée, mais les nuages sont totalement brûlés et les ombres bouchées, ce que confirme l'histogramme.

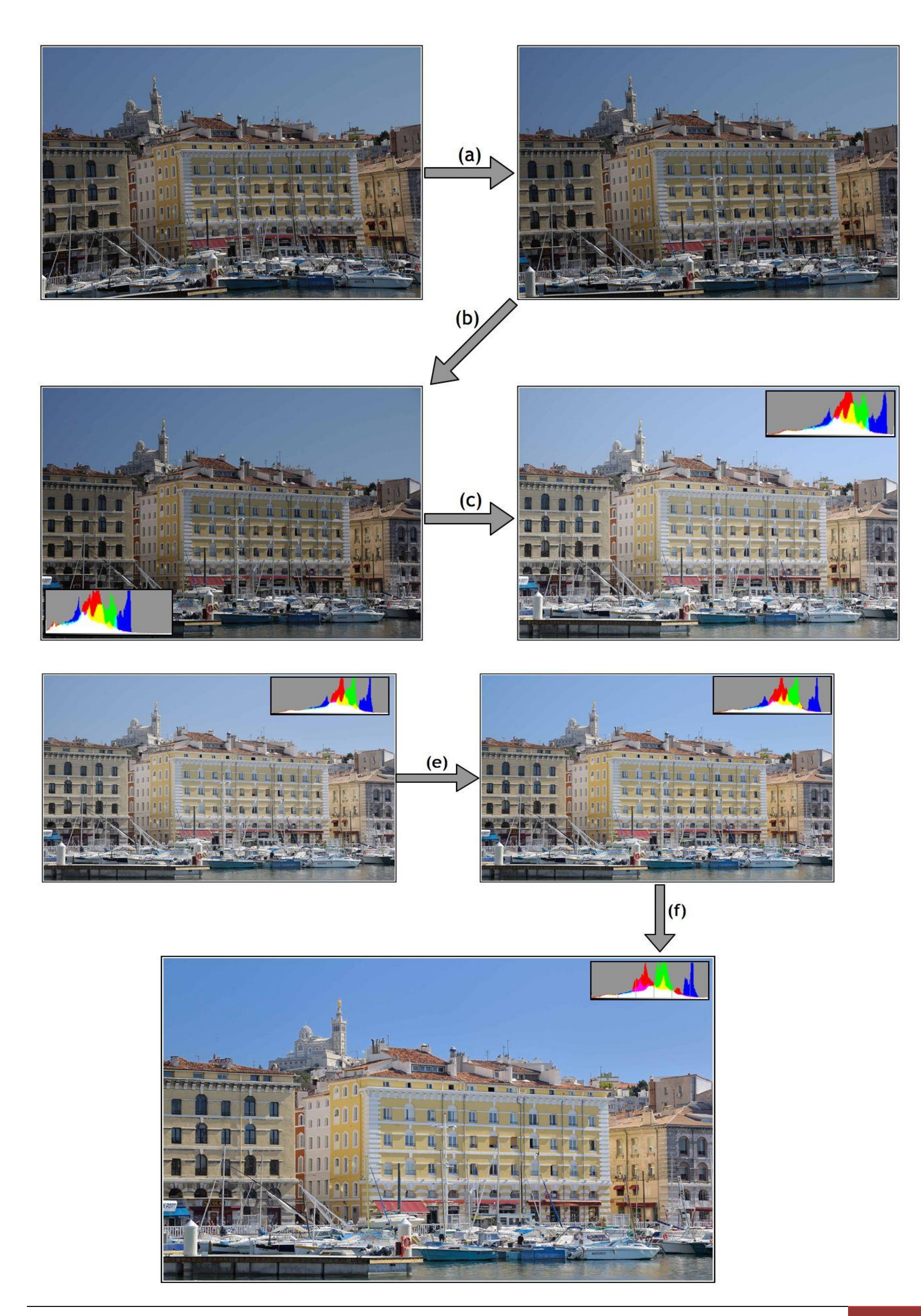
En abaissant l'exposition de 2 EV (a), on parvient à récupérer une bonne partie des détails dans les nuages.

Il faut alors agir spécifiquement sur les basses lumières (tons foncés) pour compenser la perte (b).

Enfin, on peut augmenter la saturation (c) pour récupérer les couleurs légèrement délavées par rapport à l'originale.

L'histogramme final confirme la meilleure répartition des tons sur l'ensemble de la dynamique.

Troisième exemple : le vieux port de Marseille en fin d'après-midi en juillet…



Trois choses sautent aux yeux en voyant cette image : elle est déformée (distorsion en coussinet), elle est penchée et elle est trop sombre.

Ces trois défauts ont été respectivement corrigés aux étapes (a), (b) et (c).

L'étape (d), peu visible sur les photos, a consisté à atténuer les très hautes lumières : on observe sur les histogrammes que la partie droite a été légèrement décalée vers la gauche et que le petit pic, collé à l'extrême droite, a disparu.

Dans l'étape (e), la saturation a été légèrement rehaussée pour retrouver la teinte jaune du bâtiment notamment.

Enfin, dans l'étape (f), on a légèrement assombri le ciel pour rendre le bleu plus profond et atténuer légèrement la brume de chaleur.

Remarque : les défauts visibles dans le ciel (artefacts) sont la conséquence de la compression de l'image

>>Fin de chapitre - Retour au sommaire <<

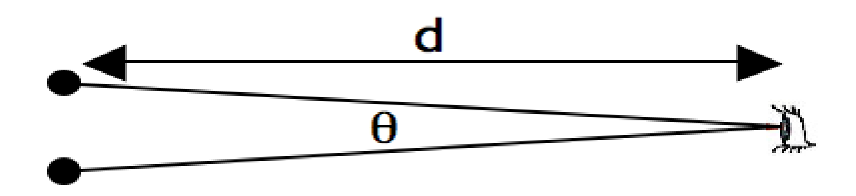
H. Stockage et diffusion d'une image numérique

H.1. La définition – la résolution – le pouvoir séparateur

On confond souvent les termes définition et résolution.
La définition d'une image numérique est simplement le nombre de pixels, qui la composent. Les APN actuels proposent des définitions variant de 6 mégapixels à 21 mégapixels (méga = 1 million).

La résolution s'exprime en points par pouces (ppp) ou dots per inch (dpi) en anglais (1 pouce = 25,4 mm). Elle dépend donc de sa taille : une même image agrandie conserve la même définition, mais sa résolution diminue.

L'œil humain a un pouvoir séparateur θ de l'ordre d'un soixantième de degré. À une distance de 30 cm, qui est la distance minimale pour observer sans effort une photo, cela signifie que l'œil ne peut pas différencier deux points séparés de moins de 300 x sin (1/60°) = 0,09 mm, ce qui correspond à une résolution de 25,4 / 0,09 = 282 ppp.



IL EST DONC TOUJOURS INUTILE DE DÉPASSER UNE RÉSOLUTION DE 300 DPI

Pour un tirage au format 10 cm x 15 cm, une définition de 1200 x 1800 = 2,2 mégapixels suffit donc !
Pour un tirage au format 20 cm x 30 cm, une définition de 2400 x 3600 = 8,6 mégapixel est optimale.
Pour un tirage au format 30 cm x 45 cm, une définition de 3600 x 5400 = 19,4 mégapixels est optimale !
Pour un tirage au format 40 cm x 60 cm, une définition de 4800 x 7200 = 34,5 mégapixels est optimale !!!

Ceci dit, les derniers calculs ne tiennent pas compte de la distance à laquelle on regarde un agrandissement. Il est raisonnable de considérer que l'on regarde une image au format 30 cm x 45 cm à une distance d'au moins 50 cm. Dans ce cas, le pouvoir séparateur de l'œil correspond à 0,15 mm, ce qui équivaut une résolution de 175 dpi, soit une définition de 2100 x 3150 = 6,6 mégapixels. Ouf !

De même pour un format 40 cm x 60 cm observé à la distance raisonnable de 1 m, le pouvoir séparateur correspond à 0,29 mm, ce qui équivaut à une résolution de 90 dpi, soit une définition de 3240 x 2160 = 7 mégapixels. Sauvés !

Une affiche au format 3 m x 4 m, observée à une distance de 5 m pourra être composée de points séparés de 1,5 mm, ce qui correspond à une définition de 2060 x 2750 = 5,7 mégapixels. Si l'on regarde de trop près une affiche publicitaire, on observe qu'elle est composée d'une multitude de petits points.

Chacun tirera l'enseignement de ces calculs selon sa propre utilisation, mais retenons que :
- 3 millions de pixels sont suffisants pour des tirages au format 10 cm x 15 cm ;
- 8 mégapixels permettent largement d'imprimer tout format de tirage ; - une définition supérieure (10 ou 12 mégapixels) est un confort, qui permet notamment de recadrer une image tout en conservant une définition suffisante.

H.2. La compression

La place mémoire occupée par une image de 3 millions de pixels, codés chacun sur 8 bits par couleur, soit 24 bits est de 72 mégabits, soit 9 Mo (Mo signifie "mégaoctet" ; 1 octet = 8 bits). Elle est de 30 Mo pour une image de 10 mégapixels ! D'où la nécessité de réduire la taille de ces fichiers pour des problèmes à la fois de stockage et de durée de traitement.

Nous avons vu que le format d'image JPEG était un format compressé. La compression est un ensemble de calculs qui permettent de réduire la place mémoire occupée par une image numérique sans réduire sa définition.
La compression JPEG consiste à regrouper en une seule information les pixels de même valeur d'une image numérique. En augmentant le taux de compression, on demande à l'APN ou au logiciel de considérer comme identiques des pixels qui sont peu différents ; le taux de compression correspond au degré de tolérance. Le format JPEG est donc "destructif" car, selon le taux de compression, certaines informations sont perdues. Cela se traduit par des défauts, appelés artefacts, visibles notamment dans les zones de dégradés.


Compression moyenne


Compression forte


Compression très forte

H.3. Quelques mots sur la colorimétrie

La question envisagée dans ce paragraphe peut sembler simple ; elle est en fait aussi vaste que complexe. Nous ne ferons qu'en aborder succinctement les grandes lignes.

H.3.a. Espaces colorimétriques

L'image que nous observons sur un écran, sur un tirage photo ou à la sortie d'une imprimante est une interprétation d'un fichier numérique. Il suffit d'observer le même fichier numérique sur des écrans différents pour se rendre compte que son

interprétation varie très fortement. De même un tirage d'un même fichier numérique effectué par deux laboratoires différents ne donnera souvent pas le même résultat. Une parfaite illustration de ce problème peut être observée chez un revendeur de téléviseurs : les écrans affichent tous la même image numérique avec une colorimétrie et donc des résultats très variables.
Or, il est important pour un photographe, que l'APN enregistre ce qu'il voit, que l'écran transcrive correctement les couleurs enregistrées par l'APN et qu'enfin, le tirage soit aussi conforme que possible avec ce qu'affiche l'écran. C'est ce que l'on appelle le respect de la chaîne colorimétrique.
L'ensemble de toutes les nuances de couleurs auxquelles est sensible l'œil humain standard (environ 10 millions de nuances) définit un espace colorimétrique.

Cet espace colorimétrique est le plus large ; on dit qu'il possède le gamut (gamme de couleur en français) le plus étendu : en dehors de cet espace, on trouvera des "lumières invisibles" pour l'œil humain : ultraviolets, infrarouges,… Cet espace colorimétrique a été défini grâce à une analyse statistique de la sensibilité de l'œil humain aux couleurs, effectuée sur un échantillon représentatif d'êtres humains. Il est aujourd'hui utilisé comme référence sous le nom d'espace CIE-Lab (CIE : commission internationale de l'éclairage).

H.3.b. Profils ICC

Là où les choses se compliquent nettement, c'est que les différents éléments de la chaîne colorimétrique (APN, écran, imprimante,…) sont très loin de pouvoir reproduire toutes les nuances de l'espace CIE-Lab. Autrement dit, leur espace colorimétrique possède un gamut bien moins étendu que celui de l'espace CIE-Lab.

Par conséquent, lors de l'interprétation des couleurs, à chaque étape de la chaîne colorimétrique, des couleurs sont perdues. Par exemple, des couleurs bleues très saturées, parfaitement observables sur un écran, ne sont reproductibles par aucune imprimante, car les encres ne le permettent tout simplement pas. Il est donc fondamental de connaître l'espace colorimétrique d'un périphérique, c'est-à-dire l'ensemble des couleurs, qu'il est capable d'enregistrer (APN, scanner,…) ou de reproduire (écran, imprimante,…). Bien entendu, l'information perdue ne sera pas pour autant récupérable, mais cela permettra d'en tenir compte dans le traitement du fichier pour optimiser son rendu final.

Ces informations, qui définissent les capacités colorimétriques d'un périphérique, sont stockées dans un fichier appelé profil ICC (International Color Consortium).

Un profil ICC contient à la fois :
- les limites de l'espace colorimétrique du périphérique : son gamut ;
- une table de correspondance entre l'espace colorimétrique de ce périphérique et les couleurs réelles de l'espace CIE-Lab de référence.

H.3.c. Espaces de travail

Les espaces de travail sont des espaces colorimétriques définis indépendamment de tout périphérique. Ce sont des normes, qui servent de dénominateur commun entre les différents périphériques utilisés dans la chaîne colorimétrique. L'espace CIE-Lab en est un exemple, mais on préfère travailler dans des espaces du type RVB (Rouge, Vert, Bleu).

Les deux espaces de travail les plus répandus en photographie sont :

- l'espace sRVB : c'est un espace colorimétrique, dont le gamut est peu étendu, mais cela fait aussi son intérêt, car la plupart des périphériques savent enregistrer ou reproduire toutes les couleurs qui le composent : c'est donc l'espace colorimétrique de référence dans tous les échanges informatiques, notamment sur Internet.

- l'espace Adobe RVB 1998 est plus vaste que le précédent et permet donc une retouche plus fine des photos. C'est donc l'espace colorimétrique à privilégier lorsque l'on souhaite avoir un meilleur contrôle de l'image. C'est actuellement un espace de référence dans le monde de l'image. Il reste cependant nettement moins étendu que l'espace CIE-Lab, ce qui signifie concrètement que certaines nuances de couleurs pourtant visibles, n'existent pas dans cet espace colorimétrique.

H.3.d. La chaîne colorimétrique

À la lumière de ces nouvelles notions, reprenons toute la chaîne colorimétrique depuis l'objet photographié jusqu'à la diffusion d'une image.

- L'objet photographié émet toutes sortes de lumières visibles ou non. Naturellement, seules les couleurs visibles (celles de l'espace CIE-Lab) nous intéressent ici.

- L'APN enregistre ces couleurs dans son propre espace colorimétrique, ce qui constitue déjà une interprétation : cet espace colorimétrique est moins étendu que l'espace CIE-Lab, du fait notamment de la dynamique limitée du capteur. Pour autant, il est tout à fait illusoire de définir cet espace colorimétrique car les conditions d'éclairage changent en permanence (excepté si l'on travaille dans un studio photographique à éclairage constant).

- Les données brutes ainsi recueillies sont ensuite converties dans un espace de travail (sRVB ou Adobe RVB 1998 selon la configuration de l'APN). Si l'on utilise le format RAW, on peut choisir son espace de travail au moment du traitement.

- Le fichier est ensuite exporté vers l'ordinateur et l'écran en donne une interprétation. Cette étape est primordiale car la fidélité d'un écran est rarement satisfaisante. Il est donc vivement conseillé de calibrer son écran, c'est-à-dire de lui attribuer un profil ICC sur mesure. Cela se fait à l'aide d'une sonde de calibration ou, à défaut, à l'aide d'un logiciel. Les informations contenues dans ce profil ICC servent à modifier le comportement de l'écran par l'intermédiaire de la carte vidéo. Par exemple, si un écran a une dominante verte, le profil ICC commandera à la carte vidéo de diminuer en conséquence la composante verte.

☝ Si l'écran est mal calibré, il peut s'avérer très préjudiciable de traiter les photos : imaginons par exemple un écran qui a tendance à afficher des couleurs manquant de saturation. On voudra légitimement retraiter les images en les saturant davantage pour compenser ce "défaut" apparent. Or, en faisant cela, on modifie le fichier tel qu'il est dans l'espace de travail et non tel qu'on le voit dans l'espace colorimétrique de l'écran. On se retrouvera donc finalement, à son insu, avec une photo trop saturée…

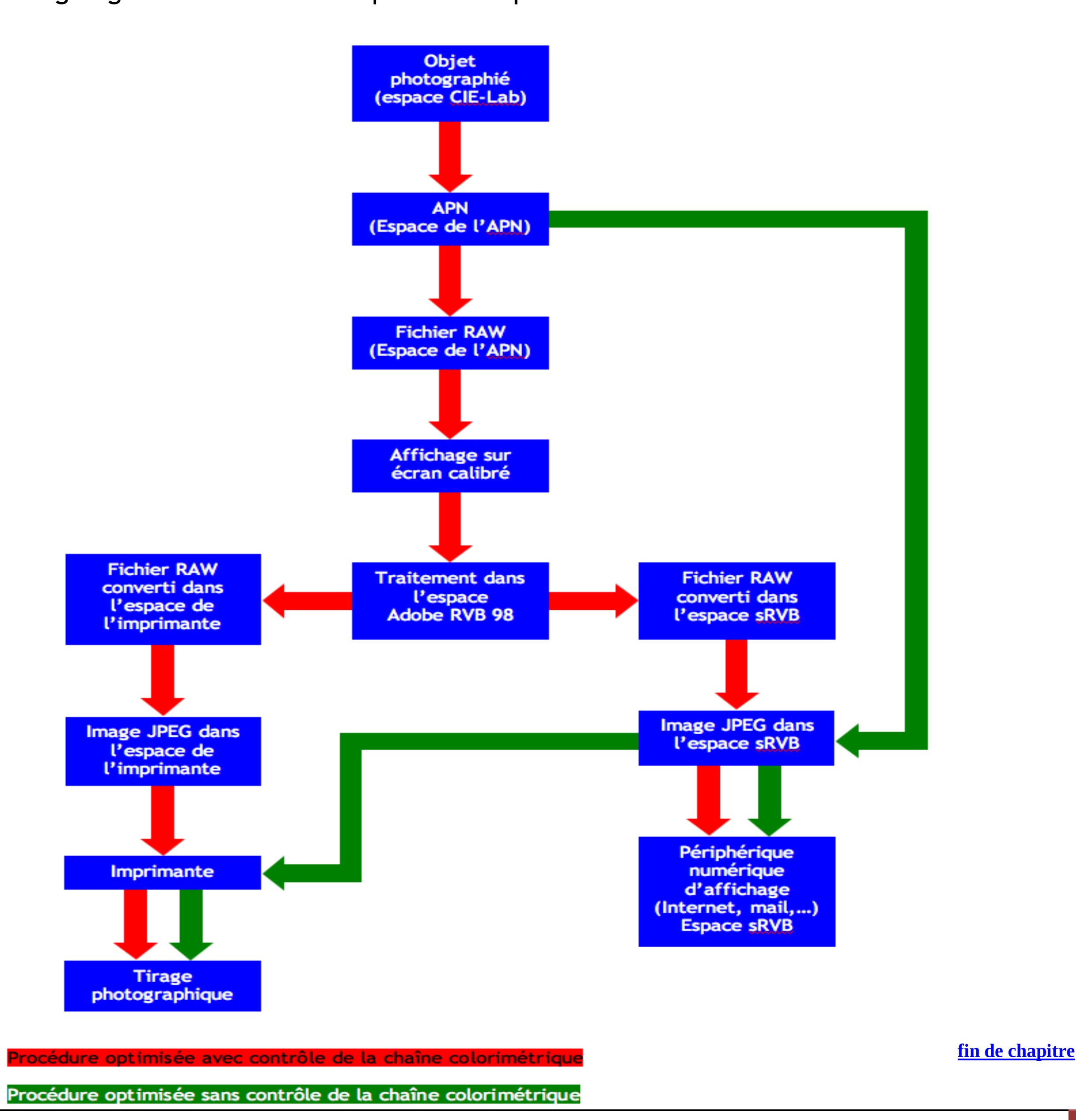
Une fois que l’on est satisfait du rendu de l’image sur l’écran calibré, le fichier peut être diffusé :

- si l’image numérique n’a pas vocation à être imprimée, il faudra la convertir dans l’espace colorimétrique le plus universel : l’espace sRVB (si ce n’est pas déjà le cas) ;

- si l’image doit être imprimée, il faudra la convertir dans l’espace colorimétrique de l’imprimante, ce qui impose de connaître son profil ICC. Certains laboratoires de tirage en ligne mettent à disposition le profil ICC de leur matériel d’impression.

Attention : cette procédure idéale n’interdit évidemment pas à ceux que tout cela dépasse et qui n’ont pas un écran correctement calibré, d’imprimer et de diffuser des photos ! Il faudra simplement opérer avec précaution en choisissant préférentiellement l’espace sRVB tout le long de la chaîne colorimétrique, pour sa plus grande compatibilité. Il faudra également faire confiance aux laboratoires de tirage, qui proposent d’optimiser automatiquement les photos en fonction de leur matériel d’impression.

L’organigramme suivant récapitule les opérations décrites ci-dessus :



fin de chapitre